

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
 H 01 L 33/00  
 21/205  
 H 01 S 3/18

識別記号

F I  
 H 01 L 33/00  
 21/205  
 H 01 S 3/18

C

審査請求 未請求 請求項の数11 FD (全 6 頁)

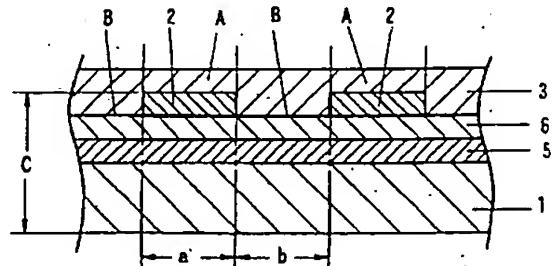
(21)出願番号 特願平9-311518  
 (22)出願日 平成9年(1997)10月26日

(71)出願人 000241463  
 豊田合成株式会社  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地  
 (72)発明者 小出 典克  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内  
 (72)発明者 小池 正好  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内  
 (72)発明者 加藤 久喜  
 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
 番地 豊田合成株式会社内  
 (74)代理人 弁理士 藤谷 修

(54)【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体及びその製造方法

## (57)【要約】

【課題】素子特性及び製造効率を向上させること。  
 【解決手段】シリコン基板1の上にはAl<sub>x,y</sub>G<sub>1-x,y</sub>Nから成る層5が形成され、この層5上に、GaNから成る層6が形成されている。層5と層6とで第3の層が構成される。層6上には、SiO<sub>2</sub>から成る膜厚約2000Åの第1の層2がストライプ状又は格子状に形成されている。第1の層2の上部領域A及び層6の露出部B上にGaNから成る第2の層3を成長させる。このとき、GaNは、層6の露出部B上のGaNを核として、面に垂直方向に成長する。そして、第1の層2の上部領域Aでは、層6の露出部B上に成長したGaNを核として、GaNが横方向にエピタキシャル成長する。このように、GaNがGaNを核として縦方向にも横方向にもエピタキシャル成長するので、第1の層2の上部領域Aである横方向成長領域では無転位の窒化ガリウム系化合物半導体を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】シリコン(Si)基板と、前記シリコン基板上に、シリコンの露出部が散在するように、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層と、前記第1の層で覆われていないシリコンの露出部を核として、エピタキシャル成長させ、前記第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで形成された窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体から成る第2の層とを備えたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体。

【請求項2】シリコン(Si)基板と、前記シリコン基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体から成る第3の層と、前記第3の層の上に形成され、前記第3の層の露出部が散在するように、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層と、前記第1の層で覆われていない前記第3の層の露出部を核として、エピタキシャル成長させ、前記第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで形成された窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層とを備えたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体。

【請求項3】前記第1の層は、二酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)から成ることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体。

【請求項4】前記第1の層は、高融点を有した金属又は非晶質のシリコン(Si)から成ることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体。

【請求項5】前記第3の層は、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0≤x≤1)から成る層上にGaNから成る層が形成された2層構造を成すことを特徴とする請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体。

【請求項6】シリコン(Si)基板上の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法において、

前記シリコン基板上に、シリコンの露出部が散在するように、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層を形成し、前記第1の層で覆われていないシリコンの露出部を核として、エピタキシャル成長させ、前記第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層を形成することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項7】シリコン(Si)基板上の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法において、

前記シリコン基板上に、窒化ガリウム系化合物半導体から成る第3の層を形成し、

10

前記第3の層の上に、前記第3の層の露出部が散在するよう、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層を形成し、

前記第1の層で覆われていない前記第3の層の露出部を核として、エピタキシャル成長させ、前記第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層を形成することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

20

【請求項8】前記第1の層は、二酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)から成ることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項9】前記第1の層は、高融点を有した金属又は非晶質のシリコン(Si)から成ることを特徴とする請求項6又は請求項7に記載の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

30

【請求項10】前記第3の層は、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0≤x≤1)から成る層上にGaNから成る層が形成された2層構造を成すことを特徴とする請求項7に記載の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

【請求項11】前記シリコン基板、前記第3の層、前記第1の層のうち、少なくともシリコン基板を除去して、窒化ガリウム系化合物半導体から成るウエハを得ることを特徴とする請求項6乃至請求項10のいづれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体の製造方法。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一般式Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0≤x≤1, 0≤y≤1, 0≤x+y≤1)の窒化ガリウム系化合物半導体とその製造方法に関する。特に、基板にシリコン(Si)を用いたものに関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物半導体は、発光スペクトルが紫外から赤色の広範囲に渡る直接遷移型の半導体であり、発光ダイオード(LED)やレーザダイオード(LD)等の発光素子に応用されている。この窒化ガリウム系化合物半導体では、通常、サファイア上に形成している。

40

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来技術では、サファイア基板上に窒化ガリウム系化合物半導体を形成すると、サファイアと窒化ガリウム系化合物半導体との熱膨張係数差により、半導体層にクラック、それが発生し、ミスフィットにより転位が発生し、このため素子特性が良くないという問題がある。さらに、サファイアは絶縁性があるので、基板に対して同一面側に両電極を形成する必要があり、そのために基板に近い側にあるn層までのエッチングをする必要があるために、製造効率がよくないという問題がある。又、同一面側に

50

両電極を形成するために、素子サイズが増大する。また、両電極に対してワイヤボンディングを必要とすると共に、n層において横方向の電流路が形成され電流路が長くなるため駆動電圧が若干増加するという問題がある。加えて、基板と半導体層とが異種の物質で構成されているので、レーザダイオードでは良好なへき開が困難である。

【0004】従って、本発明の目的は、上記課題に鑑み、シリコン基板上に窒化ガリウム系半導体層を形成することで、素子特性を向上させると共に、効率のよい製造方法を実現することである。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段及び作用効果】上記の課題を解決するために、請求項1に記載の手段によれば、シリコン(Si)基板と、シリコン基板上に、シリコンの露出部が散在するように、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層と、第1の層で覆われていないシリコンの露出部を核として、エピタキシャル成長させ、第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで形成された窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層とを有する。

【0006】尚、ここでいう横方向とは、基板の面方向を意味する。これにより、窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層は、第1の層の上にはエピタキシャル成長せず、シリコン基板の露出部から成長した層が、第1の層の上では横方向にエピタキシャル成長される。この結果、シリコン基板と窒化ガリウム系化合物半導体との間のミスマッチに基づく転位は縦方向にのみ成長し、横方向には成長しない。従って、第1の層の上における窒化ガリウム系化合物半導体の結晶性が向上する。また、第1の層とその上の窒化ガリウム系化合物半導体とは化学的に接合していないので、第2の層のそりが防止されると共に応力歪みがその層に入ることが抑制される。

【0007】請求項2に記載の手段によれば、シリコン(Si)基板と、シリコン基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体から成る第3の層と、第3の層の上に形成され、第3の層の露出部が散在するように、点状、ストライプ状又は格子状等の島状態に形成され、窒化ガリウム系化合物半導体がその上にエピタキシャル成長しない第1の層と、第1の層で覆われていない第3の層の露出部を核として、エピタキシャル成長させ、第1の層の上部では、横方向にエピタキシャル成長させることで形成された窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層とを有する。

【0008】この構成によれば、第2の層は、窒化ガリウム系化合物半導体から成る第3の層の露出部を核として、請求項1の発明と同様に、窒化ガリウム系化合物半導体から成る第2の層が形成される。結晶成長の核がシ

リコンではなく、成長させる第2の層の半導体と同種の半導体を用いている結果、その第2の層の結晶性がより向上する。

【0009】請求項3の発明は、第1の層を、二酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)としたことである。この場合には、第2の層をAlを含まない窒化ガリウム系化合物半導体として、第1の層の上にはエピタキシャルせずに、横方向のエピタキシャル成長により第2の層を結晶性良く得ることができる。

10 【0010】請求項4の発明は、第1の層を、高融点を有した金属又は非晶質のシリコン(Si)としたことを特徴とする。第1の層が導電性を有するので、シリコン基板に導電性を持たせることで、第2の層とシリコン基板との間に、面に垂直方向に均一に電流を流すことが可能となる。よって、素子の電極を両端面に形成することが可能となる。尚、高融点を有した金属とは2000°C以上の融点を有する金属であり、例えば、Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Wが上げられる。

【0011】請求項5に記載の発明は、第3の層を、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N(0≤x≤1)から成る層上にGaNから成る層が形成された2層構造としたことである。この構造によれば、第2の層をGaNとすれば、GaNを核としてGaNを結晶成長させることができるために、より、結晶性の良い第2の層を得ることができる。

【0012】請求項6の発明は、請求項1の半導体の製造方法であり、請求項7の発明は、請求項2の半導体の製造方法である。この方法により、良質な結晶の窒化ガリウム系化合物半導体を得ることができる。請求項8、9、10は、請求項3、4、5と同一の効果を有する。

30 また、請求項11は、シリコン基板、第3の層、第1の層のうち、少なくともシリコン基板を除去して、第2の層から成るウェハを得ることを特徴とする。これにより、結晶性の良い窒化ガリウム系化合物半導体単体の基板を得ることができる。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

(第1実施例) 図1は、本発明の第1実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の断面構成を示した模式図である。シリコン基板1の上にはSiO<sub>2</sub>から成る膜厚約2000Åの第1の層2がストライプ状(図1(b))又は格子状(図1(c))に形成されている。又、シリコン基板1上の第1の層2を除いた露出領域B及び第1の層2の上にはGaNから成る膜厚約10μmの第2の層3が形成されている。

【0014】次に、このGaN系化合物半導体の製造方法について説明する。この半導体は、スパッタリング法及び有機金属気相成長法(以下「MOVPE」と略す)により製造された。MOVPEで用いられたガスは、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、キャリアガス(H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)、トリメチルガリウム(Ga

(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> (以下「TMG」と記す)である。

【0015】まず、フッ酸系溶液(HF:H<sub>2</sub>O=1:1)を用いて洗浄した(111)面、(100)面、又は、(110)面を正面としたシリコン基板1をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧でH<sub>2</sub>を流速2liter/分で約10分間反応室に流しながら温度1150°Cで基板1をベーリングした。次に、基板1上にSiO<sub>2</sub>から成る第1の層2をスパッタリングにより膜厚約2000Å、幅aが約5μm、露出部Bの間隔bが約5μmのストライプ状(図1(b))又は格子状(図1(c))に形成した。

【0016】次に、MOVPE法により基板1の温度を600°CにしてN<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を20liter/分、NH<sub>3</sub>を10liter/分、TMGを1.0×10<sup>-4</sup>モル/分、H<sub>2</sub>ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを20×10<sup>-4</sup>モル/分で供給して、膜厚約10μmのGaNを形成することにより、第2の層3を得た。このとき、GaNは、シリコン基板1の露出部Bのシリコンを核として面に垂直に成長する。そして、第1の層2の上部領域Aでは、シリコン基板1の露出部Bに成長したGaNを核として、GaNが横方向、即ち、シリコン基板1の面方向に沿ってエピタキシャル成長する。この第2の層3は、シリコン基板1の露出部Bにだけ縦方向に転位が生じ、第1の層2の上部領域Aには横方向のエピタキシャル成長であるために、転位は生じない。第1の層2の面積をシリコン基板1の露出部Bの面積に比べて大きくすることで、広い面積に渡って結晶性の良好なGaNから成る第2の層3を形成することができる。また、第1の層2とその上のGaNは化学的に結合していないために、第2の層3のそり、応力歪みを極めて大きく減少させることができる。

【0017】尚、上記実施例において、ストライプ状又は格子状に形成された第1の層2の幅aを約5μmとしたが、第1の層2の幅aが10μmを超えると横方向の成長に長時間必要となり、第1の層2の幅aが1μm未満になると、後にアセトン等でのSiO<sub>2</sub>膜の除去が困難となるので、望ましくは1~10μmの範囲が良い。又、上記実施例ではシリコン基板1の露出部Bの間隔bを5μmとしたが、露出部Bの間隔bが10μmを超えると転位発生の確率が増大し、露出部Bの間隔bが1μm未満になると良好なGaN膜の形成が困難となるので、望ましくは1~10μmの範囲が良い。また、第2の層3の結晶性の点から幅の割合a/bは1~10が望ましい。

【0018】(第2実施例)上述の第1実施例では、第1の層2をシリコン基板1上に形成したが、本実施例の特徴は、シリコン基板1の上に窒化ガリウム系化合物半導体の第3の層を設け、その第3の層の上に、第1の層を島状に形成して、その上に窒化ガリウム系化合物半導体を形成したことである。

【0019】図2は、本発明の第2の実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の断面構成を示した模式図で

ある。シリコン基板1の上にはAl<sub>x,y</sub>Ga<sub>z,w</sub>Nから成る膜厚約1000Åの第3の層5が形成され、この第3の層5上にSiO<sub>2</sub>から成る膜厚約2000Åの第1の層2が第1実施例と同様にストライプ状又は格子状に形成されている。又、第3の層5の露出部B及び第1の層2の上部領域Aには、GaNから成る膜厚約10μmの第2の層3が形成されている。

【0020】次に、このGaN系化合物半導体の製造方法について説明する。シリコン基板1をベーリングすると10ころまでは、上記第1実施例と同様である。この後、基板1の温度を1150°Cに保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>を10liter/分、NH<sub>3</sub>を10liter/分、TMGを1.0×10<sup>-4</sup>モル/分、トリメチルアルミニウム(Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMA」と記す)を1.0×10<sup>-4</sup>モル/分、H<sub>2</sub>ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを20×10<sup>-4</sup>モル/分で供給し、膜厚約1000Å、Si濃度1.0×10<sup>11</sup>/cm<sup>3</sup>のAl<sub>x,y</sub>Ga<sub>z,w</sub>Nから成る第3の層5を形成した。

【0021】次に、第1実施例と同様に、第3の層5上にSiO<sub>2</sub>から成る第1の層2を膜厚約2000Å、幅aが約5μm、第3の層5の露出部Bの間隔bが約5μmのストライプ状又は格子状に形成する。次に、第1実施例と同様に、第1の層2及び第3の層5の露出部B上に膜厚約10μmのGaNから成る第2の層3を形成する。このとき、GaNは、第3の層5の露出部BのAl<sub>x,y</sub>Ga<sub>z,w</sub>Nを核として、面に垂直方向に成長する。そして、第1の層2の上部領域Aでは、第3の層5の露出部B上に成長したGaNを核として、GaNが横方向にエピタキシャル成長する。このようにして、第1の層2及び第3の層5の露出部上にGaNから成る第2の層3が形成される。

【0022】上記に示されるように、GaNはAl<sub>x,y</sub>Ga<sub>z,w</sub>Nを核として、先ず、成長するので、Siを核とした場合に比べてGaNの結晶性はより高くなる。また、シリコン基板1、又は、シリコン基板1から第1の層2までの領域Cを研磨又はエッティングにより除去することにより、第2の層3により、無転位の窒化ガリウム系化合物半導体基板を得ることができる。

【0023】尚、本実施例では、第3の層5の組成をAl<sub>x,y</sub>Ga<sub>z,w</sub>Nとしたが、任意組成比の一般式Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0≤x≤1, 0≤y≤1, 0≤z≤1)の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができる。シリコン基板1上にエピタキシャル成長させるには、Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0≤x≤1) (AINを含む)が望ましい。また、第2の層3は、任意組成比の一般式Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N(0≤x≤1, 0≤y≤1, 0≤z≤1)の窒化ガリウム系化合物半導体を用いることができ、第3の層5と同一組成比であっても、異なる組成比であっても良い。又、本実施例では、第3の層5の膜厚を約1000Åとしたが、第3の層5の膜厚が500Å未満であると、第2の層の横方向の成長が悪くなるので、第3の層5の膜厚は500Å以上であることが望ましい。

【0024】(第3実施例)前述の第2実施例では、第3の層5を単層で構成したが、本実施例の特徴は、第3の層を2層構造とした点にある。図3は、本発明の第3実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の断面構成を示した模式図である。シリコン基板1の上には $Al_{1-x}Ga_{x}N$ から成る膜厚約1000Åの層5が形成され、この層5上に、GaNから成る膜厚約1000Åの層6が形成されている。層5と層6とで第3の層が構成される。層6上には、 $SiO_2$ から成る膜厚約2000Åの第1の層2が上記実施例と同様にストライプ状又は格子状に形成されている。層6及び第1の層2上には、GaNから成る膜厚約10μmの第2の層3が形成されている。

【0025】次に、このGaN系化合物半導体の製造方法について説明する。基板1をベーリングし、基板1上にMOVPE法により層5を形成するところまでは、第2実施例と同様である。層5の形成後、層5上にMOVPE法により基板1の温度を1100℃にして $N_2$ 又は $H_2$ を20liter/分、 $NH_3$ を10liter/分、TMGを $2.0 \times 10^{-4}$ モル/分、 $H_2$ ガスにより0.86ppmに希釈されたシランを $20 \times 10^{-4}$ モル/分で供給して、GaNを形成し、膜厚約1000Åの層6を得る。

【0026】次に、第1、第2実施例と同様に、第3の層5上に $SiO_2$ から成る第1の層2を膜厚約2000Å、幅aが約5μm、層6の露出部Bの間隔bが約5μmのストライプ状又は格子状に形成する。次に、第1の層2の上部領域A及び層6の露出部B上に膜厚約10μmのGaNから成る第2の層3を成長させる。このとき、GaNは、層6の露出部BのGaNを核として、面に垂直方向に成長する。そして、第1の層2の上部領域Aでは、層6の露出部B上に成長したGaNを核として、GaNが横方向にエピタキシャル成長する。このようにして、本実施例では、GaNがGaNを核として縦方向にも横方向にもエピタキシャル成長するので、上記の実施例よりも、さらに、結晶性の高いGaNが得られる。

【0027】本実施例でも、同様に、シリコン基板1又は、シリコン基板1から第1の層2までの部分Cを研磨又はエッチングにより除去することにより、第2の層3から成る無転位のGaN基板を得ることができる。また、層6と第2の層3とをGaNとしたが、層6と第2の層3とを同一組成比の一般式 $Al_xGa_{1-x}In_{1-y}N$ ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )の窒化ガリウム系化合物半導体\*

\* としても良い。但し、第1の層2に $SiO_2$ を用いた場合には、Alが含まれない窒化ガリウム系化合物半導体を用いるのが良い。勿論、層6と第2の層3との組成比を変化させても良い。

【0028】上記の全実施例において、第2の層3にGaNを用いたが、任意組成比のInGaNを用いても良い。Alが含まれる窒化ガリウム系化合物半導体は、 $SiO_2$ 層上に成長するので、Alを含まない方が望ましい。しかし、ストライプ状又は格子状に形成される第1の層2を $SiO_2$ に

10 代えて、タングステン(W)など高融点の金属や、アモルファスSiなどを用いてもよい。このように、第1の層2を金属又は非晶質Siで構成することにより、第1の層2に電流が流れるので、GaN化合物半導体の厚さ方向に均一に電流をより良好に流すことができる。タングステン(W)など高融点の金属や、アモルファスSiを用いた場合には、任意組成比の一般式 $Al_xGa_{1-x}In_{1-y}N$ ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )の窒化ガリウム系化合物半導体は、その上にエピタキシャル成長しないので、一般式 $Al_xGa_{1-x}In_{1-y}N$ を第2の層として用いることができる。

20 また、上記の全実施例において、基板の上に窒化ガリウム系化合物半導体の低温成長によるバッファ層を形成した後、各層を形成しても良い。上記の全実施例において、MOVPE法は常圧雰囲気中で行われたが、減圧成長下で行なって良い。また、常圧、減圧の組み合わせで行なって良い。

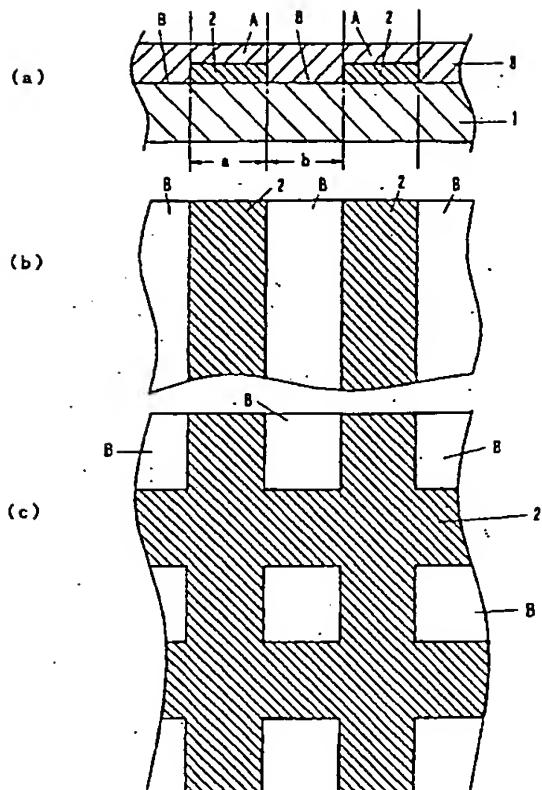
【0029】本発明で得られたGaN系化合物半導体は、LEDやLDの発光素子に利用可能であると共に受光素子及び電子ディバイスにも利用することができる。

【図面の簡単な説明】  
30 【図1】本発明の具体的な第1実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の構造を示した模式的断面図。  
【図2】本発明の具体的な第2実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の構造を示した模式的断面図。  
【図3】本発明の具体的な第3実施例に係わる窒化ガリウム系化合物半導体の構造を示した模式的断面図。

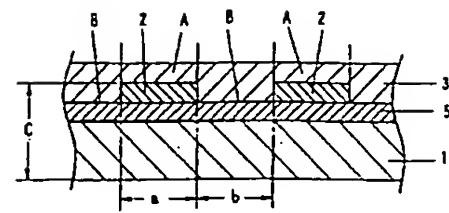
#### 【符号の説明】

1	シリコン基板	
2	第1の層	
3	第2の層	
40	5	第3の層

[図1]



[図2]



[図3]

